

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра радиофизики и электроники

А. Л. Семенов

Измерение вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов

Методические указания к лабораторным работам

Ульяновск
2017

УДК 621.382

ББК 32.853

С30

Печатается по решению Ученого совета инженерно-физического факультета высоких технологий Ульяновского государственного университета (протокол № 10 от 18.04.2017)

Рецензент:

к.ф.-м.н., доцент кафедры ФМПИ УлГУ *Ю. Ф. Наседкина*

Семенов А. Л.

С30 **Измерение вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов : методические указания к лабораторным работам / А. Л. Семенов. – Ульяновск : УлГУ, 2017. – 28 с.**

Пособие содержит описания лабораторных работ по исследованию вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов: диода, светодиода, стабилитрона, стабилизатора напряжения, биполярного транзистора, симистора, полевого транзистора с управляющим р-п-переходом, варистора, термистора.

Предназначено для студентов инженерных и физических специальностей университетов.

УДК 621.382

ББК 32.853

Директор Издательского центра *Т. В. Филиппова*

Подготовка оригинал-макета *Е. Г. Туженковой*

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 30.08.2017.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,4.

Тираж 100 экз. Заказ 109 /

Оригинал-макет подготовлен и тираж отпечатан
в Издательском центре

Ульяновского государственного университета
432017, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42

© Семенов А. Л., 2017

© Ульяновский государственный университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Правила работы с мультиметром.....	4
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Полупроводниковый диод.....	4
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Светодиод.....	6
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Вольтамперная характеристика стабилитрона.....	8
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Стабилизатор напряжения.....	10
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Испытание слоев и выпрямительного действия биполярных транзисторов	11
<i>Лабораторная работа № 6.</i> Характеристики биполярного транзистора. Часть 1	13
<i>Лабораторная работа № 7.</i> Характеристики биполярного транзистора. Часть 2	15
<i>Лабораторная работа № 8.</i> Симистор	17
<i>Лабораторная работа № 9.</i> Характеристика включения затвора полевого транзистора	19
<i>Лабораторная работа № 10.</i> Управляющий эффект затвора полевого транзистора n-типа	20
<i>Лабораторная работа № 11.</i> Выходные характеристики полевого транзистора	21
<i>Лабораторная работа № 12.</i> Термистор	23
<i>Лабораторная работа № 13.</i> Варистор.....	25
<i>Лабораторная работа № 14.</i> Источник питания	26
<i>Лабораторная работа № 15.</i> Измерительные приборы.....	27
Литература	28

Правила работы с мультиметром

Мультиметр предназначен для измерения напряжения, тока, сопротивления, а также для проверки диодов и транзисторов. До подключения мультиметра к цепи необходимо:

1. Установить род работы ($-V$, $\sim V$, $-A$, $\sim A$, Ω). Род работы можно менять только при отключенном от цепи мультиметре (или обесточивании цепи).
2. Выбрать диапазон измерений. Диапазон измерений можно менять при подключенном к цепи мультиметре.
3. Подсоединить мультиметр к цепи в соответствии с родом работы.

Лабораторная работа № 1

Полупроводниковый диод

Общие сведения

Двухэлектродный полупроводниковый элемент диод содержит n - и p -проводящие слои. В n -проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают электроны, а в p -проводящем слое – дырки. При контакте двух полупроводниковых слоев с n - и p -типами проводимости электроны и дырки диффундируют через p - n переход навстречу друг другу. В результате p -слой заряжается отрицательно, а n -слой – положительно. В области p - n перехода образуются электрическое поле, направленное из n -слоя в p -слой. Это поле удерживает электроны в n -слое, а дырки в p -слое. Благодаря электронно-дырочной рекомбинации в области p - n перехода образуются слой, обедненный носителями заряда.

При приложении к диоду прямого напряжения («+» к слою p , «-» к слою n) удерживающее электрическое поле уменьшается, и диод начинает проводить ток (диод открыт). При обратном напряжении удерживающее электрическое поле увеличивается (диод заперт). В обратном направлении протекает только небольшой ток утечки, обусловленный неосновными носителями тока.

Уравнение диода (уравнение Шокли) связывает электрический ток I , протекающий через диод, и падение напряжения U на диоде:

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{\alpha e U}{k_B T}\right) - 1 \right), \quad (1)$$

где I_0 – обратный ток насыщения, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, $\alpha \sim 1$, α – коэффициент, зависящий от конструкции диода. В случае

$$I \gg I_0, \quad (2)$$

пренебрегая в уравнении (1) единицей, приближенно получаем:

$$\ln(I) \cong \frac{\alpha e U}{k_B T} + \ln(I_0). \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что зависимость $\ln(I)$ от U линейная с коэффициентом наклона

$$k = \frac{\alpha e}{k_B T}. \quad (4)$$

При $U = 0$ величина $\ln(I) = \ln(I_0)$.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику (ВАХ) диода. Вычислить обратный ток насыщения I_0 и коэффициент α .

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь согласно рис. 1.1. Проводя измерения, заполните табл. 1.1. Соберите цепь согласно рис. 1.2. Измерьте ток I при $U = -10$ В и запишите его в табл. 1.1.

2. Постройте график экспериментальной зависимости $I(U)$.

3. Нанесите на график с координатами $(U, \ln(I))$ экспериментальные точки. Проведите прямую, наиболее близкую к экспериментальным точкам. Продолжите эту прямую до пересечения с осью ординат. Из графика найдите $\ln(I_0) = \ln(I)|_{U=0}$ и вычислите обратный ток I_0 насыщения диода. Сравните вычисленное значение I_0 с измеренным током $I(U = -10$ В). Определите коэффициент k наклона экспериментальной прямой. По формуле $\alpha = k k_B T / e$ (см. соотношение (4)) вычислите коэффициент α . При температуре $T \approx 300$ К величина $k_B T / e \approx 0.026$ В.

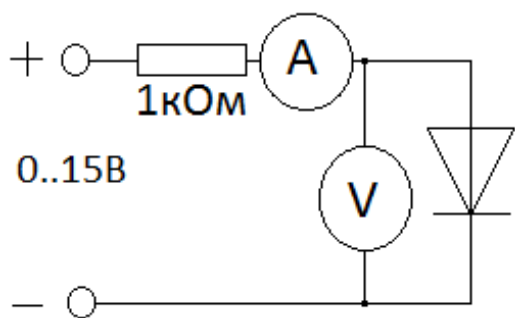


Рис. 1.1

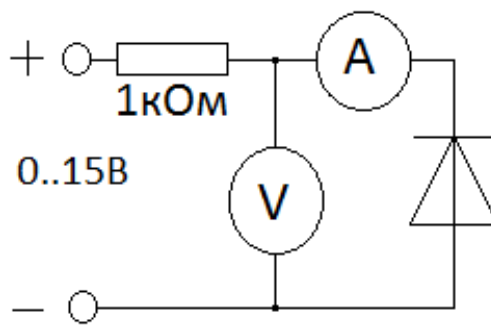


Рис. 1.2

$I(U = -10 \text{ В}) =$

Таблица 1.1

$\ln(I)$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$I, \text{ мкА}$	0.37	1	2.72	7.39	20.1	54.6	148	403	1097
$U, \text{ В}$									

Контрольные вопросы

1. Перечислите правила работы с мультиметром.
2. Какие процессы происходят при контакте двух полупроводников с n- и p- типами проводимости?
3. Напишите уравнение диода и поясните входящие в него величины.
4. Опишите метод экспериментальной проверки уравнения диода.
5. Почему при измерении ВАХ диода используют две схемы?

Лабораторная работа № 2

Светодиод

Общие сведения

В случаях, когда полупроводниковые диоды выполнены из таких материалов как арсенид галлия или фосфид галлия, часть подводимой к ним электрической энергии преобразуется не в тепло (фононы), как в других полупроводниках, а в световое излучение (фотоны) с намного более короткой длиной волны. Цвет излучения определяется выбором соответствующего материала и присадками. Цвет может быть инфракрасным, красным, желтым, оранжевым, зеленым или даже голубым. Преобразование элек-

трической энергии в световое излучение происходит при рекомбинации электронов и дырок в области р-п-перехода.

Под действием внешнего светового облучения в р-п-переходе генерируются свободные электроны и дырки. При подаче на р-п-переход обратного напряжения («-» к слою р, «+» к слою п) эти электроны и дырки создают электрический ток, сила которого зависит от светового потока. Такой прибор называют фотодиодом и используют для измерения светового потока.

Свободные электроны и дырки, созданные в р-п-переходе внешним световым облучением, под действием существующего в р-п-переходе контактного электрического поля движутся в п- и р-слой соответственно. Если присоединить этот р-п-переход к резистору, то через резистор будет течь ток. Такой прибор называют фотоэлементом и используют для преобразования световой энергии в электрическую.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику светодиода в прямом направлении. Изучить влияние напряжения U и тока I светодиода на световую эмиссию.

Порядок выполнения работы

Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.1). Изменяя входное напряжение U_1 , заполните табл. 2.1. Визуально оцените светоизлучение (отсутствует (0), слабое (1), среднее (2), сильное (3), еще сильнее (4) и т.д.). Занесите данные в таблицу.

Рассчитайте поглощаемую электрическую мощность $P = UI$. Постройте графики экспериментальных зависимостей $I(U)$, $P(U)$, $\ln(I)$ от U .

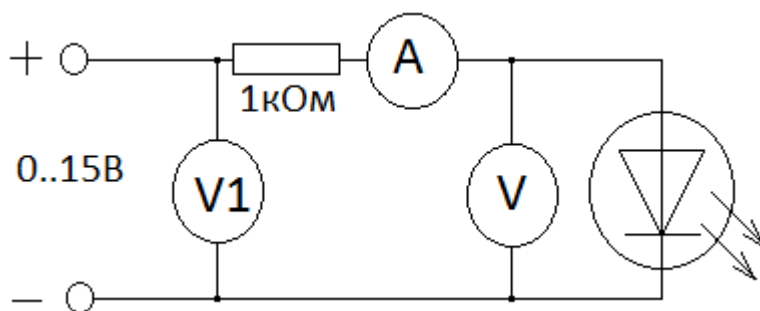


Рис. 2.1

Таблица 2.1

$U_1, \text{В}$	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$P, \text{мВт}$	$\ln(I)$	светоизлучение
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы светодиода.
2. Объясните принцип работы фотодиода.
3. Объясните принцип работы фотоэлемента.

Лабораторная работа № 3

Вольтамперная характеристика стабилитрона

Общие сведения

Ток I диода с увеличением обратного напряжения незначительно возрастает до тех пор, пока напряжение не достигает напряжения пробоя. После этого ток I возрастает очень быстро. Известны три вида пробоя: тепловой, туннельный (эффект Зенера) и лавинный. Тепловой пробой, обусловленный разогревом диода, разрушает материал и на практике не используется. Лавинный пробой возникает, когда электрон на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для генерации электронно-дырочной пары при столкновении с атомом. Туннельный пробой обусловлен квантово-механическим туннелированием электрона через потенциальный барьер из валентной зоны n -слоя в зону проводимости p -слоя.

Полупроводниковый диод, работающий в режиме туннельного или лавинного пробоя, называют стабилитроном. Часто используют стабилитроны, в которых туннельный и лавинный пробои происходят одновременно. В таких стабилитронах напряжение пробоя почти не зависит от температуры.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику $U(I)$ стабилитрона.

Порядок выполнения работы

Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.1). Проводя измерения, заполните табл. 3.1. Постройте графики зависимости $U(I)$ в линейном (рис. 3.2) и полупологарифмическом (рис. 3.3) масштабах.

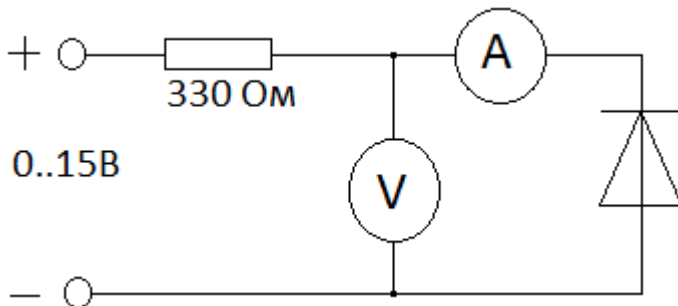


Рис. 3.1

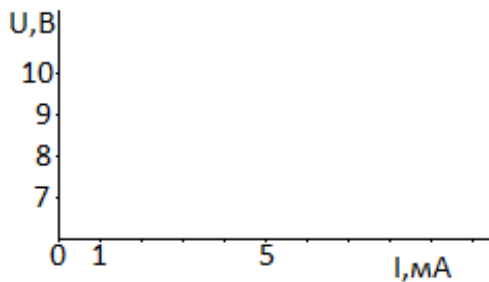


Рис. 3.2

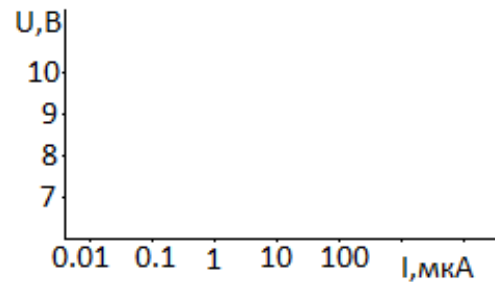


Рис. 3.3

Таблица 3.1

$I, \mu\text{A}$	0.01	0.1	1	10	100	10^3	10^4
U, V							

Контрольные вопросы

1. Что такое пробой p-n-перехода? Каковы основные виды пробоя?
2. Объясните лавинный пробой. При каком условии он возникает?
3. Что такое туннельный и тепловой пробой.
4. Как изменятся показания амперметра, если его поставить перед резистором? Сопротивление вольтметра 10 МОм.

Лабораторная работа № 4

Стабилизатор напряжения

Общие сведения

Наличие почти горизонтального участка на вольтамперной характеристике $U(I)$ стабилитрона делает его пригодным для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Для этого нагрузку включают параллельно стабилитрону и подсоединяют к источнику через балластный резистор.

Экспериментальная часть

Задание

Исследовать зависимость выходного напряжения U_2 и тока I стабилитрона от входного напряжения U_1 в цепи стабилизатора напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.1). Устанавливая последовательно величины входного напряжения U_1 постоянного тока по табл. 4.1, измерьте соответствующие выходные напряжения U_2 и токи стабилитрона I посредством мультиметров. Результаты занесите в таблицу. Постройте графики зависимостей выходного напряжения U_2 и тока стабилитрона I от входного напряжения U_1 .

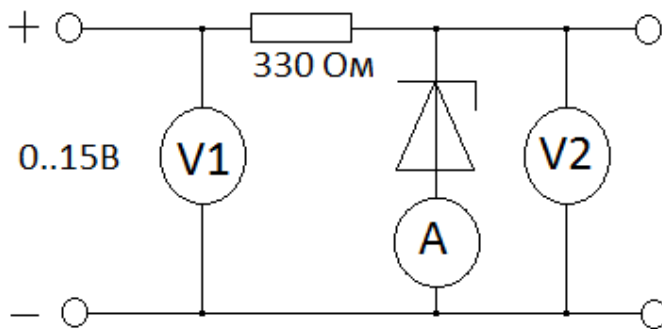


Рис. 4.1

Таблица 4.1

$U_1, \text{В}$	0	2	4	6	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_2, \text{В}$												
$I, \text{мА}$												

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте вольтамперную характеристику идеального стабилизатора. Объясните принцип работы схемы на рис. 4.1.
2. Получите теоретическую зависимость $U_2(U_1)$.
3. Что такое стабилизация напряжения?

Лабораторная работа № 5

Испытание слоев и выпрямительного действия биполярных транзисторов

Общие сведения

Транзистор представляет собой полупроводниковый триод, у которого тонкий р-проводящий слой помещен между двумя n-проводящими слоями (n-p-n-транзистор) или тонкий n-проводящий слой помещен между двумя р-проводящими слоями (р-n-р-транзистор). Один из крайних слоев (эмиттер) сильно легирован, имеет большую концентрацию носителей тока и служит для эмиссии этих носителей в средний слой (базу). Второй крайний слой (коллектор) слабо легирован и служит для захвата носителей тока из базы. Толщина базы много меньше длины диффузии носителей тока. Поэтому большинство носителей тока, эмитированных в базу эмиттером, достигает коллектора. Эмиссия носителей тока в базу управляется напряжением между базой и эмиттером.

Контакты между базой и эмиттером, а также между базой и коллектором являются обычными р-n-переходами. Они обладают выпрямительным свойством, которое можно исследовать как в случае любого выпрямительного диода.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперные характеристики эмиттерного и коллекторного р-n-переходов транзисторов типа р-n-р и типа n-p-n в прямом направлении.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.1а). Поочередно устанавливая значения токов I регулятором напряжения источника, измерьте соответствующие значения напряжения на р-п-переходе $U_{бэ}$ и занесите их в табл. 5.1.

Измените схему в соответствии сначала с рис. 5.1б, затем 5.1в и 5.1г и повторите все измерения.

Постройте графики зависимостей $\ln(I)$ от U для всех случаев на одном координатном поле и вычислите обратные токи насыщения (см. лаб. раб. № 1).

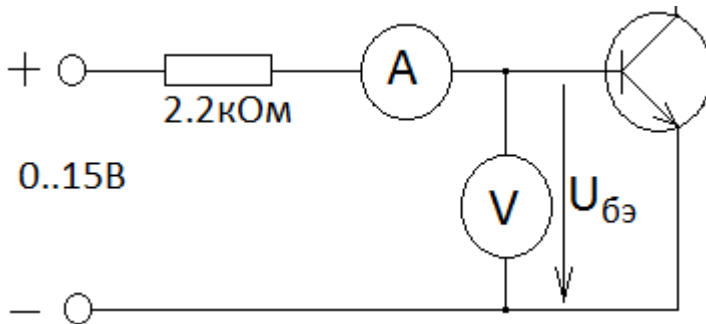


Рис. 5.1а

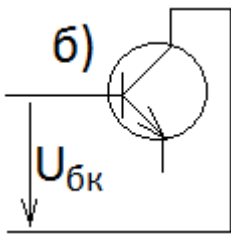


Рис. 5.1б

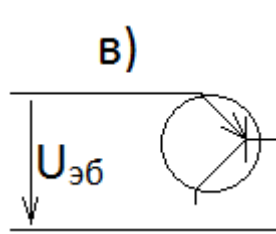


Рис. 5.1в

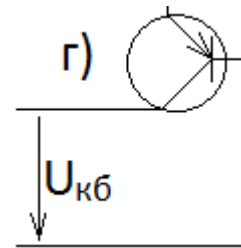


Рис. 5.1г

Таблица 5.1

$\ln(I)$	I , мкА	Транзистор n-p-n		Транзистор p-n-p	
		$U_{бэ}$, В	$U_{бк}$, В	$U_{эб}$, В	$U_{кб}$, В
0.7	2				
2.3	10				
3.9	50				
5.3	200				
6.9	1000				

Контрольные вопросы

1. Что такое биполярный транзистор? Чем отличается эмиттер от коллектора?
2. Почему толщина базы транзистора должна быть малой?
3. Нарисуйте схематично ВАХ p-n-переходов в транзисторе.

Лабораторная работа № 6

Характеристики биполярного транзистора. Часть 1

Общие сведения

Входная характеристика транзистора показывает зависимость тока базы I_B от напряжения в цепи база/эмиттер $U_{бэ}$ (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Характеристика управления представляет собой зависимость тока коллектора I_K от тока базы I_B (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально и построить графики семейств входных характеристик $I_B(U_{бэ})$ и характеристик управления $I_K(I_B)$ биполярного транзистора n-p-n-типа.

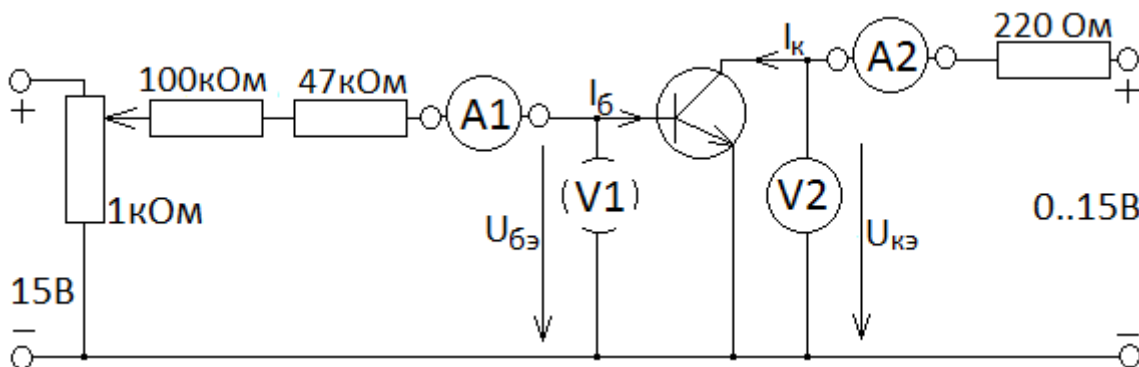


Рис. 6.1

Таблица 6.1

$I_{\text{б}}, \text{мкА}$	$U_{\text{кэ}} = 0 \text{ В}$		$U_{\text{кэ}} = 2 \text{ В}$		$U_{\text{кэ}} = 4 \text{ В}$	
	$U_{\text{бэ}}, \text{В}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$U_{\text{бэ}}, \text{В}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$U_{\text{бэ}}, \text{В}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$
1						
5						
10						
20						
30						
40						

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.1) без вольтметра V1. Потенциометр 1 кОм используется для регулирования тока базы, резисторы 100 и 47 кОм – для ограничения максимального тока базы. Регулирование напряжения $U_{\text{кэ}}$ осуществляется регулятором источника постоянного напряжения. Измерение тока базы $I_{\text{б}}$ и напряжения $U_{\text{бэ}}$ производятся мультиметрами на пределах 200 мкА и 2 В соответственно. Пределы измерения тока коллектора $I_{\text{к}}$ и напряжения $U_{\text{кэ}}$ изменяются в ходе работы по мере необходимости.

Примечание: характеристики транзистора могут меняться в ходе работы из-за его нагрева. Поэтому рекомендуется выключать блок генераторов напряжений, когда показания приборов не снимаются.

Установите $U_{\text{кэ}} = 0$ и переключите вольтметр V2 в положение V1. Изменяя ток базы в соответствии со значениями, указанными в табл. 6.1, снимите зависимости $U_{\text{бэ}}(I_{\text{б}})$ и $I_{\text{к}}(I_{\text{б}})$. Переключите вольтметр в положение V2 и установите $U_{\text{кэ}} = 2$ В. Переключите вольтметр в положение V1 и снова снимите зависимость $U_{\text{бэ}}(I_{\text{б}})$ и $I_{\text{к}}(I_{\text{б}})$. Повторите этот опыт при $U_{\text{кэ}} = 4$ В.

Постройте графики входных $I_{\text{б}}(U_{\text{бэ}})$ и управляющих $I_{\text{к}}(I_{\text{б}})$ характеристик, указав для каждой кривой соответствующие значения $U_{\text{кэ}}$.

Контрольные вопросы

1. Объясните эффект управления в транзисторе.
2. Нарисуйте входную и управляющую характеристики транзистора.
3. Как изменятся входная и управляющая характеристики при увеличении толщины базы?

Лабораторная работа № 7

Характеристики биполярного транзистора. Часть 2

Общие сведения

Выходная характеристика транзистора показывает зависимость тока коллектора I_k от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы ($I_б = \text{const}$).

Характеристика обратной связи есть зависимость напряжения цепи база/эмиттер $U_{бэ}$ от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы ($I_б = \text{const}$).

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально и построить графики семейств выходных характеристик $I_k(U_{кэ})$ и семейство характеристик обратной связи $U_{бэ}(U_{кэ})$ биполярного транзистора n-p-n-типа.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.1). Потенциометр 1 кОм используется для регулирования тока базы, резисторы 100 и 47 кОм – для ограничения максимального тока базы. Регулирование напряжения $U_{кэ}$ осуществляется регулятором источника постоянного напряжения. Измерение тока базы $I_б$ и напряжения $U_{бэ}$ производятся мультиметрами на пределах 200 мкА и 2 В соответственно. Пределы измерения тока коллектора I_k и напряжения $U_{кэ}$ изменяются в ходе работы по мере необходимости. При сборке схемы предусмотрите переключки для переключения амперметра из одной ветви в другую.

Примечание: характеристики транзистора могут меняться в ходе работы из-за его нагрева. Поэтому рекомендуется выключать блок генераторов напряжений, когда показания приборов не снимаются.

Установите первое значение тока базы 20 мкА и переключите амперметр А1 в положение А2, поставив вместо А1 переключку. Изменяя напряжение $U_{кэ}$ согласно значениям, указанным в табл. 7.1, снимите зависи-

мости $I_K(U_{кэ})$ и $U_{бэ}(U_{кэ})$. Переключите амперметр положение А1, поставив вместо А2 перемычку. Повторите измерения для других значений $I_б$, указанных в таблице.

Постройте графики семейства выходных характеристик $I_K(U_{кэ})$ и семейство характеристик обратной связи $U_{бэ}(U_{кэ})$, не забыв указать какому току базы соответствует каждая кривая.

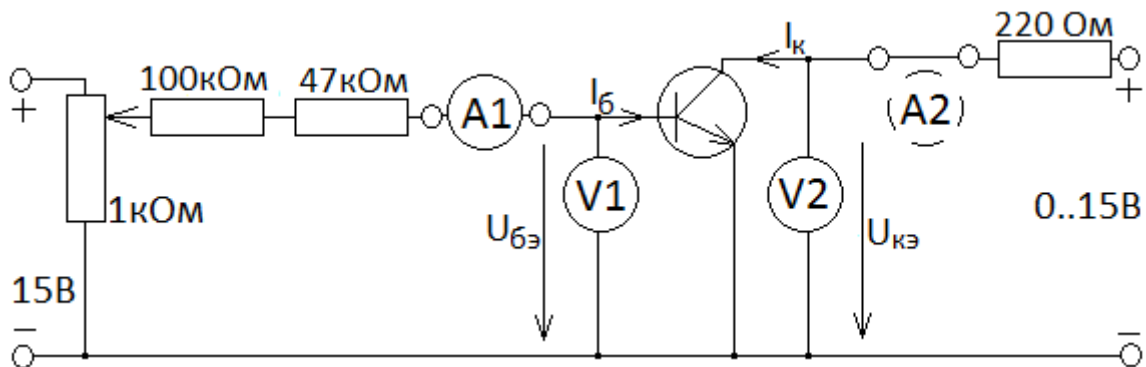


Рис. 7.1

Таблица 7.1

$U_{кэ}, В$	$I_б = 20 мкА$		$I_б = 30 мкА$		$I_б = 40 мкА$	
	$I_K, мА$	$U_{бэ}, В$	$I_K, мА$	$U_{бэ}, В$	$I_K, мА$	$U_{бэ}, В$
0.01						
0.1						
0.2						
0.5						
1						
2						

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте выходную характеристику транзистора.
2. Объясните эффект насыщения выходной характеристики.
3. Как изменится выходная характеристика при увеличении толщины базы?

Лабораторная работа № 8

Симистор

Общие сведения

Динистор – полупроводниковый прибор с тремя р-n-переходами и двумя выводами. Динисторы бывают р-n-р-n или n-р-n-р-типа. Ширина внутренних р- и n-слоев много меньше длины диффузии электронов и дырок. При приложении напряжения («+» к слою р, «-» к слою n) крайние р-n-переходы динистора открыты, а центральный р-n-переход закрыт. Ток через динистор отсутствует. При некотором напряжении отпираания U_0 наступает лавинный или туннельный пробой центрального р-n-перехода. Из внешних n- и р-слоев во внутренние р- и n-слои начинают эмитироваться электроны и дырки, которые достигают центрального р-n-перехода. При этом ток через динистор увеличивается скачком (динистор открывается). При уменьшении напряжения при некотором токе удержания I_0 ток через динистор скачком обращается в ноль (динистор закрывается). Симистор выполняет функции двух динисторов, включенных встречно-параллельно. Изменение состояния симистора происходит при обеих полярностях приложенного напряжения, обеспечивая прохождение тока в обоих направлениях.

Экспериментальная часть

Задание

Снять статическую характеристику (ВАХ) симистора.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно рис. 8.1. Напряжения больше 15 В получаются при последовательном соединении регулируемого и нерегулируемого источников постоянного напряжения.

Изменяя переменное сопротивление и напряжение источника тока, определите напряжение отпираания U_0 симистора (это наибольшее напряжение, при котором симистор закрыт, при дальнейшем увеличении напряжения источника ток возрастает скачком, а напряжение на симисторе скачком уменьшается). Запишите значение U_0 в табл. 8.1.

Изменяя переменное сопротивление и напряжение источника тока, определите ток удержания I_0 симистора (это наименьшее значение тока, при котором симистор еще остается включенным, при дальнейшем снижении напряжения ток скачком падает почти до нуля, а напряжение на симисторе скачком возрастает). Запишите значение I_0 в табл. 8.1.

В схеме (рис. 8.1) уберите переключку DF. Изменяя переменное сопротивление и напряжение источника тока, заполните табл. 8.1. При необходимости в схеме замените сопротивление $R = 1$ кОм на большее сопротивление (10 кОм, 100 кОм, 1 МОм). **Установка резистора с $R < 1$ кОм запрещена, так как симистор может перегреться и выйти из строя.**

По данным табл. 8.1 постройте статическую ВАХ $I(U)$ симистора. Проверьте возможность аппроксимации ВАХ зависимостью

$$I = a(U_0 - U)^b, \quad (1)$$

где a, b – постоянные. Для этого отложите экспериментальные точки в координатах $(\ln(U_0 - U), \ln I)$. Из (1) следует, что эта зависимость линейная:

$$\ln I = \ln a + b \ln(U_0 - U). \quad (2)$$

Из графика с учетом формулы (2) определите коэффициенты a, b .

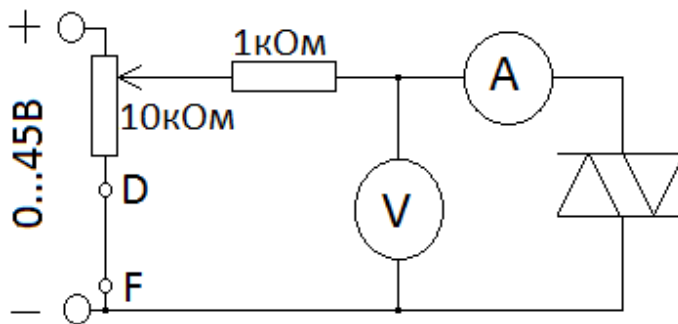


Рис. 8.1

Таблица 8.1

	$U_0 =$ В,				$I_0 =$ мА				
$I, \text{ мА}$	10	8	6	4	2	1	0.5	0.2	0.1
$U, \text{ В}$									
$\ln I$	2.30	2.08	1.79	1.39	0.69	0	-0.69	-1.61	-2.30
$\ln(U_0 - U)$									

Контрольные вопросы

1. Объясните работу динистора и симистора, нарисуйте их ВАХ.
2. Что такое напряжение отпирания U_0 и ток удержания I_0 ?

Лабораторная работа № 9

Характеристика включения затвора полевого транзистора

Общие сведения

Переход между затвором и каналом полевого транзистора с управляющим р-n-переходом обладает выпрямительным действием. Хотя это и не имеет практического значения, вольтамперную характеристику этого перехода следует знать, чтобы понимать особенности управления полевыми транзисторами.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально вольтамперную характеристику р-n-перехода между затвором и каналом полевого транзистора n-типа.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 9.1) для контура затвор/исток. Установите последовательно величины напряжения U , указанные в табл. 9.1. Измерьте мультиметром соответствующие значения тока I и занесите их в таблицу.

Повторите измерения для контура сток/затвор и занесите измеренные значения тока в табл. 9.2.

Постройте ВАХ р-n-переходов $I(U)$.

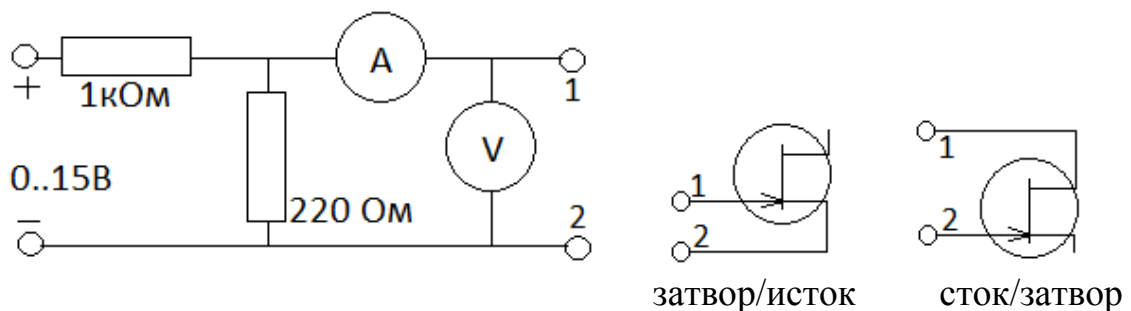


Рис. 9.1

Таблица 9.1

U , В	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
I , мкА							

Таблица 9.2

$U, \text{В}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$I, \text{мкА}$							

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему полевого транзистора с управляющим р-п-переходом и объясните принцип его работы.
2. Что такое затвор, исток и сток полевого транзистора?
3. Нарисуйте схематично ВАХ р-п-переходов $I(U)$.

Лабораторная работа № 10

Управляющий эффект затвора полевого транзистора п-типа

Общие сведения

Током стока I_c полевого транзистора можно управлять с помощью напряжения $U_{зи}$ между затвором и истоком. В отличие от биполярных транзисторов для этого не требуется мощности, так как р-п-переход между затвором и истоком закрыт. Зависимость $I_c(U_{зи})$ называется стоко-затворной или управляющей характеристикой.

Важными параметрами полевого транзистора являются крутизна управляющей характеристики:

$$S = \left| \Delta I_c / \Delta U_{зи} \right|,$$

и напряжение отсечки U_0 , при котором ток стока становится близким к нулю.

Экспериментальная часть

Задание

Исследовать экспериментально влияние напряжения $U_{зи}$ затвор/исток на токи затвора I_z и стока I_c . Построить характеристику управления $I_c(U_{зи})$ и входную характеристику $I_z(U_{зи})$.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 10.1) и установите поочередно значения напряжения затвор/исток $U_{зи}$, указанные в табл. 10.1. Измерьте

мультиметрами соответствующие значения токов затвора I_3 и стока I_c и занесите их в табл. 10.1.

Постройте характеристику управления $I_c(U_{зи})$ и входную характеристику $I_3(U_{зи})$. По графикам определите напряжение отсечки U_0 и крутизну S стоко-затворной характеристики.

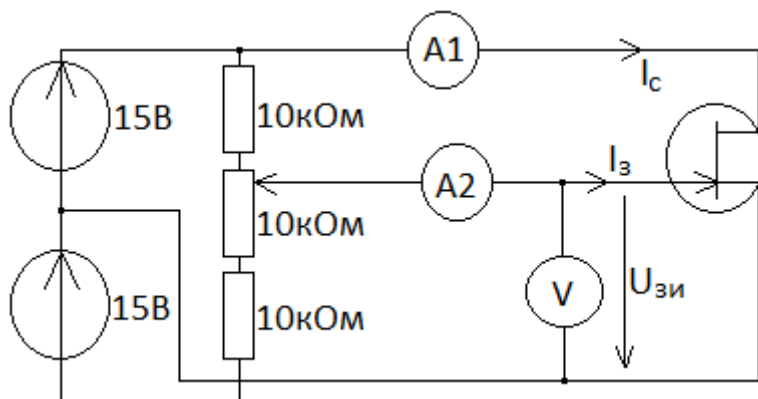


Рис. 10.1

Таблица 10.1

$U_{зи}, В$	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.1	0.2	0.3
$I_c, мА$									
$I_3, мА$									

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схематично характеристику управления $I_c(U_{зи})$.
2. Дайте определение напряжения отсечки.
3. Дайте определение крутизны управляющей характеристики.

Лабораторная работа № 11

Выходные характеристики полевого транзистора

Общие сведения

Выходными характеристиками полевого транзистора называют зависимости тока стока I_c от напряжения сток/исток $U_{си}$ при различных фиксированных значениях напряжения затвор/исток $U_{зи}$. Коэффициентом усиления по напряжению полевого транзистора называют величину $\nu = |\Delta U_{си} / \Delta U_{зи}|$.

Выходные характеристики снимают без нагрузочного сопротивления в статике.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально зависимость тока стока от напряжения сток/исток $I_c(U_{си})$ при различных значениях напряжения затвор/исток $U_{зи}$. Изучить влияние нагрузочного сопротивления на коэффициент усиления напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 11.1) сначала без нагрузочного сопротивления R_n . Установите значения напряжений затвор/исток $U_{зи}$ и сток/исток $U_{си}$, указанные в табл. 11.1, и измерьте мультиметрами соответствующие значения тока стока I_c . Внесите значения тока стока I_c в таблицу.

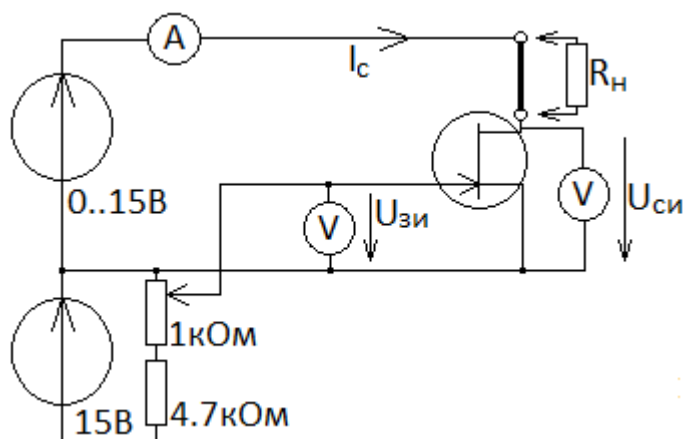


Рис. 11.1

Таблица 11.1

$U_{си}, \text{В}$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	15
$I_c, \text{мА}$ при $U_{зи} = -1.5 \text{ В}$													
$I_c, \text{мА}$ при $U_{зи} = -1 \text{ В}$													
$I_c, \text{мА}$ при $U_{зи} = -0.5 \text{ В}$													

Таблица 11.2

R_H , кОм	1		2.2		4.7		10		22	
$U_{зи}$, В	-0.5	-1	-0.5	-1	-1	-1.5	-1.2	-1.8	-1.5	-2
$U_{си}$, В										
$\Delta U_{зи}$, В										
$\Delta U_{си}$, В										
$\nu = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи} $										

Постройте зависимости $I_c(U_{си})$ при различных значениях напряжения затвор/исток $U_{зи}$.

Устанавливая в схему вместо перемычки одно за другим сопротивления нагрузки, указанные в табл. 11.2, измерьте выходное напряжение $U_{си}$ при двух значениях входного напряжения $U_{зи}$ и запишите их в таблицу.

Вычислите разность входных и разность выходных напряжений и коэффициент усиления по напряжению для каждого сопротивления нагрузки.

Постройте зависимость $\nu(R_H)$ коэффициента усиления по напряжению ν от сопротивления нагрузки R_H .

Контрольные вопросы

1. Дайте определение выходной характеристики транзистора.
2. Нарисуйте выходную характеристику транзистора.
3. Дайте определение коэффициента усиления по напряжению.

Лабораторная работа № 12

Термистор

Общие сведения

Термистор (терморезистор) – это полупроводниковый резистор, сопротивление R которого зависит от температуры. Вольтамперная характеристика (ВАХ) термистора нелинейная.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально ВАХ $I(U)$ термистора 6.8 кОм.

Порядок выполнения эксперимента

Термистор нагревается за время ≈ 30 с. В течение этого времени после установки напряжения показания амперметра могут меняться.

Соберите цепь с термистором 6.8 кОм согласно схеме (рис. 12.1). Повышая напряжение U , заполните вторую строку табл. 12.1. Понижая напряжение U , заполните третью строку табл. 12.1. Рассчитайте средний ток $I = (I_1 + I_2)/2$ и сопротивление $R = U/I$. Постройте графики зависимостей $I(U)$ и $R(U)$.

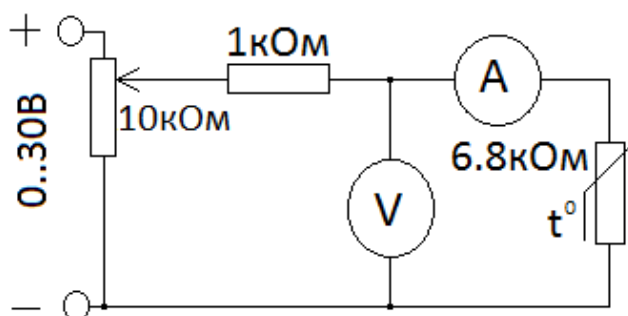


Рис. 12.1

Таблица 12.1

$U, \text{В}$	2	6	10	12	14	16	18	20	22
$I_1, \text{мА}$									
$I_2, \text{мА}$									
$I, \text{мА}$									
$R, \text{Ом}$									

Контрольные вопросы

1. Дайте определение термистора.
2. Почему сопротивление термистора зависит от напряжения?

Лабораторная работа № 13

Варистор

Общие сведения

Варистор – это полупроводниковый резистор, сопротивление R которого зависит от напряжения U . Вольтамперная характеристика (ВАХ) варистора нелинейная.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально ВАХ $I(U)$ варистора 18 В, 1 мА.

Порядок выполнения эксперимента

Из-за релаксационных процессов в течение времени ≈ 30 с после установки напряжения показания амперметра могут меняться.

Соберите цепь с варистором 18 В, 1 мА согласно схеме (рис. 13.1). Повышая напряжение U , заполните вторую строку табл. 13.1. Понижая напряжение U , заполните третью строку табл. 13.1. Рассчитайте средний ток $I = (I_1 + I_2)/2$, $\lg(I) \approx \ln(I)/2.303$ и сопротивление $R = U/I$. Постройте графики зависимостей $\lg(I)$ от U и $R(U)$.

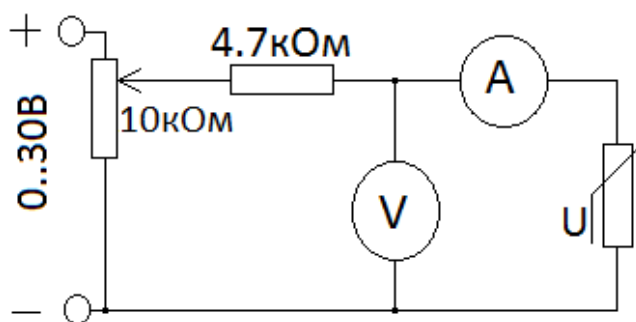


Рис. 13.1

Таблица 13.1

U , В	11	12	13	14	15	16
I_1 , мкА						
I_2 , мкА						
I , мкА						
$\lg(I)$						
R , МОм						

Контрольные вопросы

1. Дайте определение варистора.
2. Почему сопротивление варистора зависит от напряжения?

Лабораторная работа № 14

Источник питания

Общие сведения

Внешняя (или вольтамперная) характеристика источника питания $U(I)$ – это зависимость напряжения U между его выводами от тока I источника. Во многих случаях эту зависимость можно аппроксимировать формулой

$$U = E - I R_0, \quad (1)$$

где R_0 – внутреннее сопротивление источника питания, $E = U(I = 0)$ – напряжение холостого хода.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально вольтамперную характеристику (ВАХ) $U(I)$ источника питания.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 14.1), используя нерегулируемый источник напряжения 15 В. Проводя измерения, заполните табл. 14.1. Постройте график зависимости $U(I)$. Рассчитайте внутреннее сопротивление источника питания $R_0 = |\Delta U / \Delta I|$.

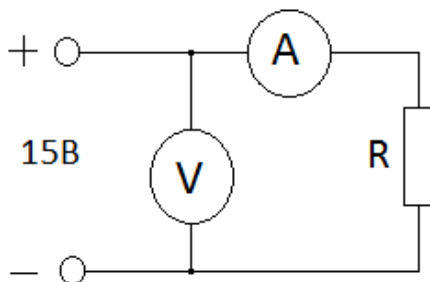


Рис. 14.1

Таблица 14.1

$R, \text{кОм}$	∞	100	47	33	22	10	4.7	2.2	1
$I, \text{мА}$	0								
$U, \text{В}$									

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте эквивалентную схему источника питания и получите уравнение (1).
2. Что такое режим холостого хода и режим короткого замыкания?

Лабораторная работа № 15

Измерительные приборы

Общие сведения

Идеальные амперметр и вольтметр имеют сопротивления $R_A = 0$ и $R_V = \infty$ соответственно. У реального амперметра сопротивление составляет несколько Ом, а у реального вольтметра – несколько МОм.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально вольтамперные характеристики (ВАХ) $I(U)$ вольтметра и амперметра.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 15.1). Проводя измерения, заполните табл. 15.1. Соберите цепь согласно схеме (рис. 15.2). Проводя измерения, заполните табл. 15.2. Постройте графики зависимостей $I(U)$ для вольтметра и амперметра. Рассчитайте внутреннее сопротивление вольтметра R_V и амперметра R_A .

Контрольные вопросы

1. Почему амперметр должен иметь малое сопротивление, а вольтметр – большое?
2. Объясните принцип работы амперметра и вольтметра.

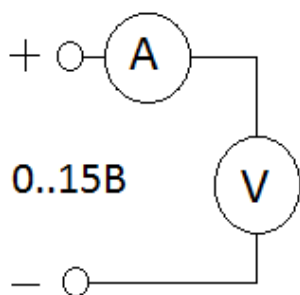


Рис. 15.1

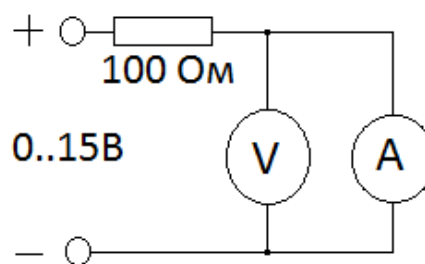


Рис. 15.2

Таблица 15.1

$U, В$	2	4	6	8	10	12	14
$I, мкА$							

Таблица 15.2

I, mA	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U, В$										

ЛИТЕРАТУРА

1. Жеребцов И. П. Основы электроники / И. П. Жеребцов. – Л. : Энергоатомиздат, 1990.
2. Кучумов А. И. Электроника и схемотехника / А. И. Кучумов. – М. : Гелиос, 2002.
3. Немцов М. В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / М. В. Немцов. – М. : Высшая школа, 2007.
4. Электротехника и электроника : учеб. пособие для вузов / В. В. Кононенко [и др.]. – 5-е изд. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008.
5. Прянишников В. А. Электроника : курс лекций / В. А. Прянишников. – СПб. : Корона, 2000.